

机械化稻草全量还田对水稻产量 和土壤碳库管理指数的影响

吴建富¹, 曾研华¹, 潘晓华^{1*}, 石庆华¹, 杨小华², 吴玉成²

(1. 江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 进贤县温圳镇农技站, 江西 进贤 331721)

摘要: 通过设置不施肥、单施化肥、稻草烧灰还田+化肥和稻草全量还田+化肥4个处理的大田定位试验,在氮、磷和钾养分相等条件下研究稻草全量还田对双季水稻产量和土壤碳库管理指数的影响。结果表明,晚稻稻草全量还田有利于提高翌年早稻产量,较单施化肥与稻草烧灰还田相比,增幅3.4%~4.3%,而晚稻产量稻草全量还田处理与单施化肥基本持平,却显著低于稻草烧灰还田处理;与单施化肥和稻草烧灰还田相比,稻草全量还田提高了土壤不同形态碳含量和碳库管理指数,活性碳、矿化碳和碳库管理指数分别提高了5.93%~7.87%、27.14%~67.55%和11.41%~21.49%。相关分析表明,土壤碳库管理指数与双季早、晚稻产量呈显著抛物线关系($r=0.9829^*$ 和 $r=0.9828^*$)。

关键词: 稻草全量还田; 双季水稻; 产量; 碳库管理指数

中图分类号: S511.4⁺2; S151.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)05-0835-05

Effect of Rice Straw Incorporation on Rice Yield and Carbon Pool Management Index under the Application of Farm Mechanization

WU Jian-fu¹, ZENG Yan-hua¹, PAN Xiao-hua^{1*},
SHI Qing-hua¹, YANG Xiao-hua², WU Yu-cheng²

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: A localization field experiment, designed with four treatments, i. e. CK, NPK, rice straw incineration and chemical fertilizers (SINPK), total rice straw incorporation and chemical fertilizers (SNPK), was conducted to examine the effect of rice straw incorporation on rice yield and carbon pool management index under the conditions of equal Nitrogen, phosphorus and potassium nutrient. The results showed that rice straw returned to field increased the next year's early rice yield, and compared with NPK and SINPK treatments, the production increased significantly by 3.4%~4.3%, the late rice yields of NPK and SNPK treatments were similar, and lower than that of SINPK treatment. Compared with NPK and SINPK treatments, the contents of all types of soil carbon and carbon pool management index (CPMI) were improved when rice straw was returned to the soil, the active carbon, mineralized carbon and CPMI increased by 5.93%~7.87%,

收稿日期: 2011-04-22 修回日期: 2011-07-26

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD02A04)和江西省科技支撑计划重点项目(2009BNA03800)

作者简介: 吴建富(1967—)男,副教授,博士,主要从事水稻高产理论与土壤肥料研究, E-mail: wj6711@126.com; * 通讯作者: 潘晓华,教授,博士, E-mail: xhuapan@163.com。

27.14% ~ 67.55% and 11.41% ~ 21.49%. Correlation analysis revealed that the CPMI and yield of double cropping early rice and late rice had significant parabola correlation ($r = 0.982 9^*$ and $r = 0.982 8^*$).

Key words: total rice straw incorporation; double cropping rice; yield; carbon pool management index

农作物秸秆是一项可再生的宝贵的生物资源,全世界每年可生产近20亿t的秸秆。中国是个农业大国,也是秸秆资源最为丰富的国家之一,每年生产约6亿t的秸秆,而水稻秸秆约占总秸秆的1/3,尤其在双季稻区,水稻秸秆资源十分丰富^[1]。稻草还田的历史悠久,国内外科技人员对稻草还田方式^[2]、还田数量^[3]、还田时期^[4]、培肥土壤^[5-6]、稻草还田土壤生物学效应^[7-8]和产量效应^[3,9-10]、以及稻草还田稻田的生态效应^[4,9]等方面进行了大量的研究。近20年来,我国农田土壤有机碳呈增加趋势,而土壤有机碳是矿化分解、合成的平衡结果,当土壤肥力达到一定水平或有机质含量超过一定数量后,两者之间不完全成正相关,实际上存在有机碳的质量问题^[11]。土壤矿化碳与全碳的比值可以指示土壤有机碳活性;土壤活性炭与全碳的比值可以度量土壤有机碳氧化稳定性^[12-13]。土壤碳库动态平衡与作物营养、土壤管理关系密切,直接影响作物产量和土壤肥力的高低^[14],土壤有效碳库对调节土壤碳素和养分流向有重要作用^[15-16],故对土壤碳库变化的定量研究尤为重要^[17]。自Lefroy等^[18]首次提出了土壤碳库管理指数的概念以来,国外在这方面的研究已经不少^[19],我国国内已对不同施肥、不同地带典型土壤的有机碳活性组成和碳库管理指数进行了报道。对不同施肥下土壤有机碳库变化研究较多,且主要集中在旱地^[20-22],但针对稻草全量还田的报道较少^[23],尤其是稻草全量还田对双季水稻产量影响的报道极少。为此,本文在等养分条件下,就稻草全量还田对双季水稻产量和土壤碳库管理指数的影响进行研究,为南方稻区合理利用稻草资源和水稻合理施肥提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2009年晚稻机收后,2010年在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行稻草全量还田早、晚稻两季田间定位试验,供试土壤为第四纪红色粘土发育的潴育型水稻土,试前土壤基本性质为:有机质34.16 g/kg,全氮2.271 g/kg,碱解氮126.0 mg/kg,速效钾97.9 mg/kg,有效磷31.34 mg/kg,pH 5.48。供试早、晚稻品种分别为陆两优996和五丰优T025。

1.2 试验设计

试验设4个处理:(1)不施肥(CK);(2)单施NPK化肥(NPK);(3)稻草烧灰还田+化肥(SINPK),即联合收割机收获早、晚稻后人工撒匀稻草,晒干后燃烧成灰,灌适量水后用手扶拖拉机旋耕作为早、晚稻基肥;(4)稻草全量还田+化肥(SNPK),即联合收割机收获早、晚稻时将稻草切碎成约5 cm小段,早稻稻草人工撒匀灌水后用拖拉机将稻草旋耕入土,作为晚稻基肥;晚稻稻草人工撒匀后,来年春耕时用拖拉机旋耕入土,作为早稻基肥。按照谷草比1:1计算,早、晚稻稻草还田量分别为6750 kg/hm²和6980 kg/hm²。每处理小区面积326.7 m²,无重复。除不施肥处理外,其它各处理氮、磷、钾用量相等,即早稻氮肥165 kg/hm²,晚稻195 kg/hm²,早、晚稻 $m(N) : m(P_2O_5) : m(K_2O) = 1 : 0.45 : 0.9$ 。还田的晚稻草折合化肥氮、磷、钾分别为26.8、6.0、105.2 kg/hm²,草木灰折合化肥氮、磷、钾分别为2.6、3.4、90.0 kg/hm²;还田的早稻草折合化肥氮、磷、钾分别为18.5、4.4、97.9 kg/hm²,草木灰折合化肥氮、磷、钾分别为2.6、3.5、94.6 kg/hm²,不足之数用化肥补够。早稻氮肥按 $m(\text{基肥}) : m(\text{分蘖肥}) : m(\text{穗肥}) = 5 : 2 : 3$ 施用;晚稻氮肥按 $m(\text{基肥}) : m(\text{分蘖肥}) : m(\text{穗肥}) = 4 : 2 : 4$ 施用;早、晚稻钾肥按 $m(\text{分蘖肥}) : m(\text{穗肥}) = 7 : 3$ 施用,磷肥一次性做基肥施用,化肥用尿素、钙镁磷肥和氯化钾。其他管理措施基本一致。

1.3 测定指标与方法

在早、晚稻成熟期于田间每处理采集耕作层(0~15 cm)5个点的混合土样,用于土壤有机碳、活性碳和矿化碳的测定。土壤有机碳的测定采用常规方法;土壤活性碳测定:称量处理过约含15 mg有机碳的土样,放在塑料瓶(100 mL)内,用333 mmol/L KMnO₄溶液25 mL震荡处理1 h,震荡后离心5 min(4000 r/min),取上清液,用去离子水按1:625比例稀释,然后用分光光度计565 nm比色测定,根据KMnO₄浓度的变化计算活性有机碳含量,单位C mg/g(氧化过程中1 mmol/L KMnO₄消耗0.175 mmol/L或

9 mg 碳) ;土壤矿化碳含量采用碱吸收法测定:称取土样 5 g(风干土质量)放入广口瓶中,将土壤样品平铺于瓶底,用蒸馏水调至最大田间持水量的 60%,在 25 °C 的培养箱内培养,每个处理 3 次重复。培养过程中所释放的 CO₂ 用 5 mL 1 mol/L NaOH 溶液吸收,在培养 3 d 后用 0.5 mol/L H₂SO₄ 溶液滴定法计算累积矿化量,所用指示剂为酚酞。

1.4 计算公式

$$\text{稳态碳} = \text{总碳} - \text{活性碳} \quad (1)$$

$$\text{碳库指数(CPI)} = \text{农田土壤有机碳} / \text{参考农田土壤有机碳} \quad (2)$$

$$\text{碳库活度(A)} = \text{活性碳} / \text{稳态碳} \quad (3)$$

$$\text{碳库活度指数(AI)} = \text{农田碳库活度} / \text{参考土壤碳库活度} \quad (4)$$

$$\text{碳库管理指数(CPMI)} = \text{碳库指数} \times \text{碳库活度指数} \times 100 \quad (5)$$

1.5 数据处理

用 Excel 和 DPS 软件进行计算和统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同稻草还田方式对双季早、晚稻产量及其构成因素的影响

不同稻草还田方式对早、晚稻产量及其构成因素的影响存在差异(表 1)。无论是早稻,还是晚稻,各施肥处理产量极显著高于对照。在施肥水平相同的情况下,早稻产量由大到小依次为 SNP K、SINPK、NPK,且稻草全量还田水稻产量显著高于其它两处理,增幅为 3.4%~4.3%,而单施化肥与稻草烧毁还田处理间差异不显著。晚稻产量由大到小依次为 SINPK、NPK、SNPK。且稻草烧灰还田水稻产量显著高于其它两处理,增幅为 9.5%~9.8%,而单施化肥与稻草全量还田处理间差异不显著。表明在等养分条件下,晚稻稻草全量还田有利于提高翌年早稻产量,而早稻稻草全量还田对当年晚稻产量的影响虽没有早稻明显,但稻草全量还田减少了化肥的用量,尤其是明显减少了钾肥的用量。

产量构成因素中,在等养分条件下,早稻单位面积有效穗的变化与其产量的变化趋势基本一致;而晚稻则不同,稻草全量还田处理,单位面积有效穗最少,这可能是稻草还田后,微生物分解稻草需要消耗土壤氮素而影响水稻分蘖的缘故。而每穗粒数、结实率和千粒重各处理差异不显著。相关分析表明,早、晚稻产量的主要影响因素是有效穗数和每穗粒数,与产量的相关性早稻达到显著水平,相关系数分别为 0.831 6 和 0.825 6,而晚稻相关不显著,相关系数分别为 0.821 1 和 0.615 0。

表 1 不同稻草还田方式对双季早、晚稻产量及其构成的影响

Tab.1 Effect of different rice straw incorporation ways on yield and yield components of early and late rice

处理 Treatment	有效穗数/ (10 ⁴ · hm ⁻²) Effective panicle	每穗粒数 Spikelet per panicle	结实率/% Filled grain percentage	千粒重/g 1000 - Grain weight	产量/ (kg · hm ⁻²) Yield	
早稻 Early rice	CK	168.3bB	110.7a	97.19a	29.20a	4 386.0cC
	NPK	286.2aA	114.9a	90.38a	28.41a	6 691.5bB
	SINPK	287.3aA	122.7a	93.06a	27.66a	6 750.0bAB
	SNPK	301.5aA	122.0a	93.45a	28.27a	6 979.5aA
晚稻 Late rice	CK	237.6cB	148.8a	89.32a	22.95a	5 952.0cC
	NPK	357.8aA	147.7a	82.76a	23.73a	8 143.5bAB
	SINPK	315.9bA	161.8a	82.45a	23.99a	8 919.0aA
	SNPK	311.9bA	151.3a	82.45a	24.53a	8 122.5bAB

同列数据中不同大小写字母表示差异达到 1% 和 5% 显著水平。

Different letters in the same column mean significant at the 1% and 5% level.

2.2 不同稻草还田方式对土壤碳素形态及其有效率的影响

不同处理对土壤有机碳的影响由大到小依次为 SNP K、SINPK、NPK、CK,施肥处理间差异不显著,却

显著高于对照;对活性炭的影响由大到小依次为 SNPK、NPK、SINPK、CK,但稻草全量还田显著高于其他处理;而对矿化碳的影响则由大到小依次为 NPK、SINPK、SNPK、CK(表2),说明晚稻稻草还田有利于土壤有机碳和活性碳的积累。稻草周年还田,各施肥处理间有机碳差异不显著,却显著高于对照;活性炭含量稻草周年还田则显著高于其他各处理。表明稻草全量还田有利于土壤活性碳含量的提高,因而也有利于土壤养分的释放。

土壤中活性碳占总有机碳的百分比可以反映土壤有机碳质量。各处理活性炭有效率、矿化碳有效率与活性炭、矿化碳变化趋势一致,与其他处理相比,稻草全量还田对提高碳素有效率有较好的效果。

表2 土壤碳素形态及其有效率

Tab.2 The soil carbon content of different forms and ratio of available

处理 Treatment		有机碳/ (g · kg ⁻¹) Organic carbon	活性碳/ (g · kg ⁻¹) Active carbon	矿化碳/ (g · kg ⁻¹) Mineralized carbon	矿化碳有效率/% Availability of CM	活性炭有效率/% Availability of CA
早稻 Early rice	CK	18.29b	3.80c	0.79	4.32	20.78
	NPK	19.48a	4.21b	2.23	11.45	21.61
	SINPK	19.83a	4.06b	1.75	8.83	20.47
	SNPK	20.55a	4.60a	1.63	7.93	22.38
晚稻 Late rice	CK	16.77b	3.55c	1.99	12.62	21.17
	NPK	17.61a	3.81b	1.99	11.30	21.64
	SINPK	18.45a	3.88b	1.51	8.18	21.03
	SNPK	18.38a	4.11a	2.53	13.76	22.36

同列数据中不同大小写字母表示差异达到 1% 和 5% 显著水平。

Different letters in the same column mean significant at the 1% and 5% level.

2.3 不同稻草还田方式对土壤碳库管理指数的影响

以对照作为参照土壤,对不同处理耕作层土壤的碳库管理指数进行计算如表3。从表中可以看出,不同处理对各参数的影响不同。无论是稻草一季还田,还是周年还田,各施肥处理稳态碳含量均显著高于对照,但施肥处理间差异不显著;稻草一季还田,碳库活度由大到小依次为 SNPK、NPK、SINPK;活度指数为 SNPK > SINPK ≈ NPK;碳库指数由大到小依次为 SNPK、SINPK、NPK;碳库管理指数由大到小依次为 SNPK、SINPK、NPK,但前者极显著高于后者。稻草周年还田,碳库活度由大到小依次为 SNPK、NPK、

表3 不同稻草还田方式对土壤碳库管理指数的影响

Tab.3 Effect of different rice straw incorporation ways on soil carbon pool management index

处理 Treatment		稳态碳/ (g · kg ⁻¹) Unactive carbon	活性碳/ (g · kg ⁻¹) Active carbon	碳库活度 Activity of carbon pool	活度指数 Activity index	碳库指数 Carbon pool index	碳库管理指数 Carbon pool management index
早稻 Early rice	CK	14.49b	3.80cCD	0.262	1.000	1.000	100
	NPK	15.27a	4.21bB	0.276	1.051a	1.065b	112.0bB
	SINPK	15.77a	4.06bBC	0.257	1.053a	1.146a	120.6 aA
	SNPK	15.95a	4.60aA	0.288	1.091a	1.187a	129.5aA
晚稻 Late rice	CK	13.22b	3.55cCD	0.268	1.000	1.000	100
	NPK	13.80a	3.81bBC	0.276	0.950b	1.117a	106.1 cC
	SINPK	14.57a	3.88bAB	0.266	1.010a	1.146a	115.7 bB
	SNPK	14.27a	4.11aA	0.288	1.127a	1.144a	128.9 aA

同列数据中不同大小写字母表示差异达到 1% 和 5% 显著水平。

Different letters in the same column mean significant at the 1% and 5% level.

SINPK; 活度指数由大到小依次为 SNPK、SINPK、NPK; 碳库指数为 $\text{SNPK} \approx \text{SINPK} > \text{NPK}$; 碳库管理指数由大到小依次为 SNPK、SINPK、NPK, 且处理间差异达到极显著水平。表明稻草全量还田有利于耕作层土壤碳库管理指数的提高, 因而有利于培肥土壤。相关分析表明, 土壤碳库管理指数与双季早、晚稻产量呈显著抛物线关系, 相关系数早稻为 0.9829^* , 晚稻为 0.9828^* 。

3 结论与讨论

3.1 关于稻草还田与水稻产量问题

稻草还田对水稻产量的影响, 国内外已有大量的报道^[3, 5, 7], 已有的研究认为, 稻草还田均能增加水稻产量, 但其增产效果与耕作方式、土壤类型、稻田养分水平、还田方式和年限有关。本研究认为, 在氮、磷、钾养分用量相等的情况下, 稻草全量还田对翌年早稻具有显著的增产作用, 其增产的主要原因是增加了有效穗数。与单施化肥和稻草烧灰还田两处理相比, 产量增幅为 $3.4\% \sim 4.3\%$, 这与王玄德等^[5]研究结果基本一致。但早稻稻草全量还田对当年晚稻产量的影响没有对早稻明显, 产量与单施化肥基本持平, 却显著低于稻草烧灰还田处理, 其影响机理有待进一步研究。

3.2 关于稻草还田与土壤不同形态碳素变化问题

土壤有机质的活性成分对土壤养分、植物生长、乃至环境都有直接的影响, 在现代土壤研究中非常重视土壤活性有机质的作用。对土壤活性有机质及 CMI 的研究, 能够明确土壤管理和施肥的科学性。近 20 年来, 我国农田土壤有机碳呈增加趋势, 尤其是南方红壤丘陵地区和太湖地区更为明显。已有的研究认为, 土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数的变化程度与耕作方式和施肥等农业管理措施密切相关^[20-23]。稻草还田能提高土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数, 但其影响程度与耕种年限^[21]、稻草还田年限^[22]和耕作方式^[23]有关。本研究认为, 与单施化肥和稻草烧灰还田两处理相比, 无论是稻草还田一次, 还是周年还田, 均有利于耕作层土壤活性碳含量和碳库管理指数的提高, 且对增加土壤碳素有效率有较好的效果。

参考文献:

- [1] 刘巽浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 55-61.
- [2] 肖小平, 汤海涛, 纪雄辉. 稻草还田模式对稻田土壤氮、钾含量及晚稻生长的影响 [J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1464-1469.
- [3] 蒋邵农, 刘传桃, 陈琦, 等. 稻草还田量对土壤肥力和水稻生产的影响 [J]. 湖南农业科学, 2001(2): 29-30.
- [4] 徐华, 蔡祖聪. 前茬季节稻草还田时间对稻田 CH_4 排放的影响 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(5): 289-292.
- [5] 王玄德, 石孝均, 宋光煜. 长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 302-307.
- [6] 谭周进, 李倩, 陈冬林, 等. 稻草还田对晚稻土微生物及活性的影响 [J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3385-3392.
- [7] Tran Quang Tuyen, Pham Sy Tan. Effect of straw management, tillage practice on soil fertility and grain yield of rice [J]. Omonrice, 2001(9): 74-74.
- [8] 叶文培, 谢小立, 王凯荣, 等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(1): 65-70.
- [9] 肖小平, 伍芬琳, 黄风球, 等. 不同稻草还田方式对稻田温室气体排放影响研究 [J]. 农业现代化研究, 2007, 28(5): 629-632.
- [10] 洪春来, 魏幼璋, 黄锦法, 等. 秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(6): 627-633.
- [11] Blair G J, Lefroy R D B. Soil C fractions based on their degree of oxidation and the development of a C management index for agricultural systems [J]. Aust J Agric Res, 1995, 46: 1459-1466.
- [12] Bradley R L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available C and its relationship to rate increase in C mineralization [J]. Soil Boil Biochem, 1995, 27(2): 167-172.
- [13] Sparling G P, Ord B C, Vaughan D. Changes in microbial biomass and activity in soils amended with phenolic acids [J]. Soil Biol Biochem, 1981(13): 455-460.
- [14] Ishaq M, Ibrahim M. Tillage effects on soil properties at different levels of fertilizer application in Punjab, Pakistan [J]. Soil & Tillage Research, 2002, 68: 93-99.

(下转第 879 页)

- [4]王怀珠 杨焕文 郭红英. 烘烤过程外加淀粉酶对烤烟淀粉降解的影响[J]. 生物技术 2004(5): 67-69.
- [5]宫长荣 孙福山 汪耀富 等. 烟叶烘烤中不同变黄温度对某些生理生化特性的影响[J]. 中国烟草科学 1998(2): 6-7.
- [6]董志坚 陈江华 宫长荣. 烟叶烘烤过程中不同变黄和定色温度下主要化学组成变化研究[J]. 中国烟草科学 2003(3): 21-24.
- [7]王卫峰 王松峰 陈江华 等. 装烟密度对烟叶烘烤过程中几种抗氧化酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯 2006 42(5): 817-820.
- [8]王建安 余金恒 代丽 等. 普通标准化烤房改造为密集式烤房适宜装烟密度研究[J]. 河南农业科学 2008(1): 37-39.
- [9]谢已书 邹焱 李国彬 等. 密集烤房不同装烟方式的烘烤效果[J]. 中国烟草科学 2010 31(3): 67-69.
- [10]徐秀红 王林立 王传义 等. 密集烤房不同装烟方式对烟叶质量及效益的影响[J]. 中国烟草科学 2010 31(6): 72-74.
- [11]白震译. 烟叶烘烤干筋的温度与香吃味[J]. 烟草科技 1984(1): 56-60.
- [12]王胜雷 许锡祥 陈顺辉 等. 风机配置对热风循环烤房性能和烟叶烘烤质量的影响[J]. 中国烟草科学 2006 27(4): 6-8.
- [13]樊军辉 陈江华 宋朝鹏 等. 密集烘烤后期风机转速对烤后烟叶质量的影响[J]. 江西农业大学学报 2010 32(6): 1115-1120.
- [14]王瑞新 韩富根 杨素琴. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社 1998: 109-111.
- [15]李合生 孙群 赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社 2000: 186, 195, 197.
- [16]王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社 2003: 260-269.
- [17]杜咏梅 郭承芳 张怀宝 等. 水溶性糖、烟碱、总氮含量与烤烟吃味品质的关系研究[J]. 中国烟草科学 2000 33(1): 7-10.
- [18]周正红 高孔荣 张水华. 烟草中化学成分对卷烟香味品质的影响及其研究进展[J]. 烟草科技 1997(2): 22-25.
- [19]宫长荣 袁红涛 陈江华. 烘烤过程中环境湿度和烟叶水分与淀粉代谢动态[J]. 中国农业科学 2003 36(2): 155-158.
- [20]王松峰 王爱华 毕庆文 等. 烘烤过程中湿度条件对烤烟生理指标及烤后质量的影响[J]. 中国烟草科学 2008 29(5): 52-56.

(上接第839页)

- [15]Grneme Blair I, Rod D R, Efrey. Soil carbon fractions based on their degrees of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Aust J Agri Res, 1995 46: 56-66.
- [16]Wang W J, Dalal R C, Moody P W. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content[J]. Soil Biology & Biochemistry 2003 35: 273-284.
- [17]Has sink J. Relationship between the amount and the activity of the microbial biomass in dutch grassland soils: comparison of the substrate - incubation method and the substrate induced respiration method[J]. Soil Biochem 1993 25(5): 533-538.
- [18]Lefroy R D B, Blair C, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance[J]. Plant Soil 1993(2): 155 - 156 399-402.
- [19]Conteh A, Blair G J. The distribution and relatives losses of soil organic carbon fraction in aggregate size fractions from cracking clay soils under cotton production[J]. Australian Journal of Soil Research 1998 36: 257-271.
- [20]李琳 李素娟 张海林. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. 水土保持学报 2006 20(3): 106-109.
- [21]沈宏 曹志洪 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报 2000 37(2): 166-173.
- [22]徐明岗 于荣 王伯仁 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006 12(4): 459-465.
- [23]陈尚洪 朱钟麟 刘定辉 等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008 14(4): 806-809.